

湿式原料粉砕におけるパルプ廃液添加の影響

徳 永 昌 一
吉 高 嘉 作

Effects of Adding Sulfite Waste Liquor to Slurry Grinding

Shoichi Tokunaga
Kasaku Yoshitaka

Improvements on grinding efficiency and cost of fuel consumption in wet process portland cement production have been made by using sulfite waste liquor (SWL) from pulp plant in preparation of raw slurry. To make sure of its effects, an experiment was performed with measurement of particle size distribution of ground material in a three compartment mill.

It is found that adding of 0.8% SWL to dry material increases the quantity of mill feed while reduces the water content of mill outlet slurry from 37% to 33% although particle size of the slurry in the first chamber becomes larger, to be certain, surface area per electric power or grinding media increases 10% more in the second chamber and 15% in the third chamber.

Final results showed that out put of raw material mill increases by about 1.7TPH each, and average electric power requirement is reduced by about 2.4KWH per ton

1. まえがき

湿式セメント製造における燃料原単位向上を目的として、当工場では、昭和33年以降原料粉砕時に約1.5%のパルプ廃液(S液)を添加することにより、スラリー水分を約3.5%減少し十分な効果をあげてきた。

一方、S液添加の効果は原料粉砕にも見られ、粉砕量は約2.0t/h増加し、かつ粉砕用電力原単位は約2.3kWh/t原料減少、ボール原単位は約150g/t原料減少の実績を示している。今回さらに粉砕能率を向上するための実験を計画し、その手初めとして、現在のミル粉砕状況およびS液を添加しない場合の粉砕状況を調査した。

日常の原料ミル運転は、送入スラリーの粉末度(88 μ 残分3.0%)、水分(33.5%)を管理特性として、主としてテーブルフィーダー、スクレーパー開度による原料送入量の調節および投入水量の調節によって制御運転を行なっている。日常運転での変動は水分が32~36%、粉末度が2.2~3.8%(ともに交替内変動)の範

囲にあるが、粉砕量は±3.0 t/hで変動している。これら運転データからは、粉砕量と水分の間にある程度の負相関々係が認められるのみである。

2. 実験方法の概要

今回の実験では、No.3原料ミルについてボール充てん量、配列などを現状基準どおりにして、S液を使用した場合、および使用しない場合のそれぞれについてミル各室出口スラリーの粒子分布を試験した。試験試料は各室中仕切りの間のサンプリング孔より1日2回採取し、試料採取期間中は日常運転に支障のない範囲で各原料の配合量を一定にするとともに、ミルの運転は投入水量を一定にして原料送入量のみを調節するようにした。

No.3ミルは3室コンパウンドチューブミルで、1,000HP、回転数19.9rpmで、各室の寸法は表1に示した。

使用S液の性状はつぎのとおりである。

湿式原料粉砕におけるパルプ廃液添加の影響

表1 原料ミルの仕様 (12.12×2.44, 19.9rpm, 1,000HP)

項 目	1室	2室	3室	計
有効長さ (m)	2.88	3.10	5.47	11.45
有効内径 (m)	2.386	2.395	2.364	—
内容積 (m ³)	12.87	13.95	24.00	50.82
中仕切りスロット面積 (m ²)	0.11	0.15	0.16	—
実験時のボールチャージ量 (t)	18.6	16.8	29.3	64.7
ボールの大きさ (mm)	54	37	26×18	—
ボールのばらつき	35~60	30~40	18~30	—
単位容積当たりボール量 (t/m ³)	4.52	4.63	×10~20 4.72	—
ボール充さん率 (%)	32.0	26.0	25.9	—

比重 (20°C) ; 1.06

粘度 ; 2.7

pH ; 4.9

全固形分 ; 125g/l

灰分……………17.1%
 全糖分……………10.2%
 リグニン
 スルホン酸…70.0%

一定成分、一定粉末度の原料にS液を乾原料に対して0, 1, 2および3%添加した場合のスラリーの水分と粘度の関係を図1に示した。

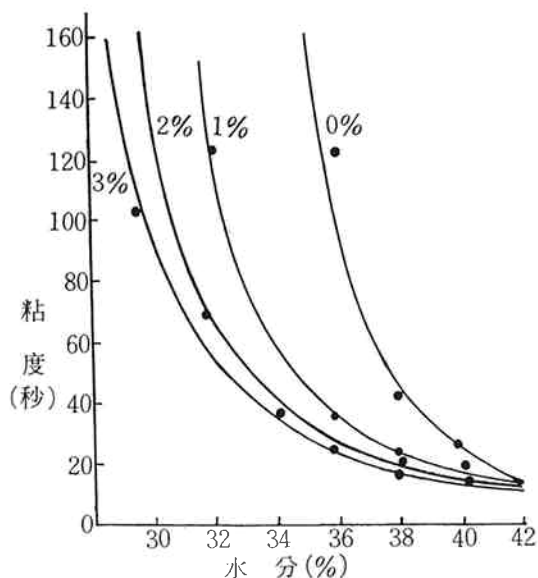


図1 スラリー水分, S液添加量およびスラリー粘度の関係

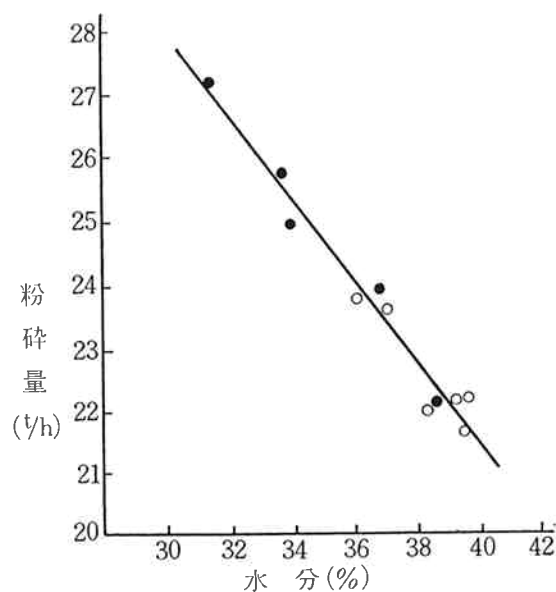
なおスラリーの粘度測定は、ビンガム式粘度計を一部改良した簡単な粘度計で行なったが、これによれば、粘度が100秒以下の場合の試験精度は十分に日常管理試験に使用できる範囲の大きさである。図1によればS液の減粘剤としての効果は非常に大きく、粘度を60秒とした場合、S液を1%添加することによってスラリー水分を3%以上減少することができる。

3. 実験結果の考察

(1) スラリー水分と粉砕量

実験方法として、投入水量を一定にして原料送入量を加減したため、その水分と粉砕量は逆相関々係になる。しかしながら粉砕量の計量が現設備で不可能であるため、テーブルフィーダー、スクレーパー開度からその粉砕量を推定した。また、採取試料が各室出口の平均試料として代表できるかどうかの疑問があったため、これらをチェックする意味で図2に平均水分と推定粉砕量の関係を

示した。



2図 スラリー水分と粉砕量

試料採取のためミルの停止は、原料と水を同時に停止したのち1分以内に行なったが、試験結果では各室スラリー水分に平均1.9% (最高3.5%) の差異があり、このことはテーブルフィーダーによる送入量が瞬間的にはかなり変動しているのではないかと考えられるが、これについては不明であった。しかしながら図2に示したように、スラリー水分と推定粉砕量は大体直線関係となり、採取試料は一応平均値を代表するものとして各室粉砕状況を調査した。

(2) 風ふるい試験結果と比表面積の関係

風ふるい試験結果による各残分と、比表面積とは、S液使用の有無に無関係にいずれも相関々係にあるが、R40μの場合にもっとも関係が大きい。

(3) 粉砕スラリーの粒度分布

④ S液を使用しない場合:

平均水分 = 38.6%, 平均粉砕量 = 22.4t/h

湿式原料粉碎におけるパルプ廃液添加の影響

㊸ S液を使用した場合：
平均水分=35.2%，平均粉碎量=24.7t/h

差異 3.4% 2.3t/h

それぞれの場合のふるい下累積曲線を図3に示した。

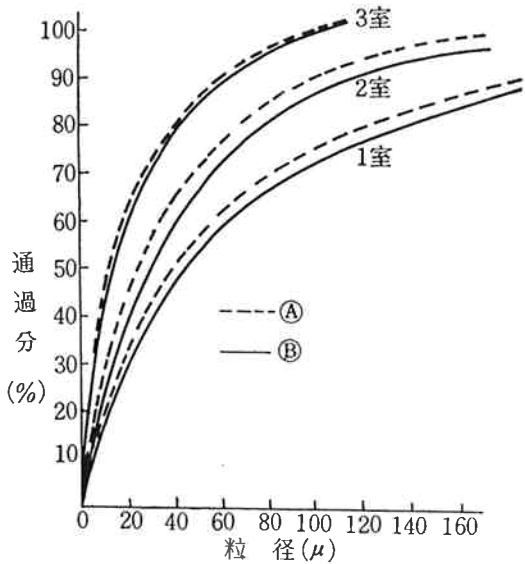


図3 各室出口スラリーのふるい下累積曲線

S液使用により水分が3.4%減少し粉碎量が2.3 t/h増加しているが、その累積曲線では1室および2室では明らかに㊶の方が粉末が小さいが、3室ではほとんど差異がない。

2室および3室における各ふるい下通過分の増加率を示すと、表2のようになる。

すなわちS液を使用して原料送込量を増加すれば、1室の粉末増加率は減少し、2室において大体等しくなり、3室に至って急増する。このように3室の粉碎効果が大きいため、総合的な粉碎能率が向上している。また、各粒度分布から Rosin-Rammler 両氏の定数 n 、 k を求めると、表3のようになり、表2と同様に2室以降の微粉分増加率の大きいことを示している。図4に各室スラリーの比表面積の変化を示した。

表2 各ふるい下の通過分増加率

項目	差	2	3
88 μ	㊶	1.20	1.18
	㊸	1.19	1.18
40 μ	㊶	1.26	1.22
	㊸	1.21	1.32
15 μ	㊶	1.25	1.32
	㊸	1.26	1.41

表3 n 、 k 表

項目	室	1	2	3
㊶	n	1.19	1.09	0.94
	k	620	560	700
㊸	n	1.25	1.12	0.98
	k	500	610	580

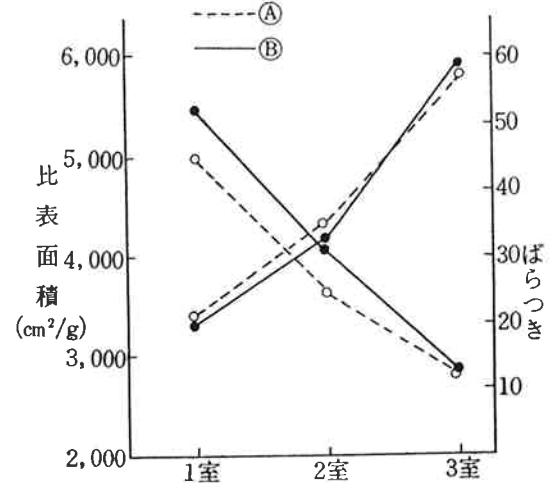


図4 比表面積の変化

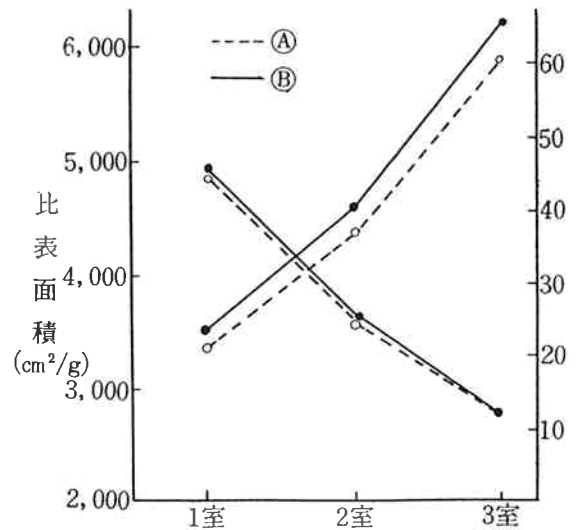


図5 水分38.5%の場合の微粉分増加

つぎに粉碎量の大体等しい場合を比較すると図5となる。それぞれの場合、石灰石の割合が異なっているため確定はできないが、いずれの場合も㊸の比表面積が大きい。また図3のふるい下累積曲線で、

$$\frac{(75\% \text{通過する粒径}) - (25\% \text{通過する粒径})}{2}$$

を粒度分布のばらつきの尺度と考えれば、ばらつきには大きな差異は認められない。

(4) 粉砕量の粉末度の関係

同一粉砕条件では、粉砕量を増加すれば当然粉末度は大きくなるが、過去の実績ではスラリー水分を一定にして粉砕量を1.5t/h増加すれば、 88μ 残分が約1%大きくなる。本実験ではS液の効果の調査を目的としたため、スラリー水分と粉砕量は図2に示したように、逆相関の条件のもとで実施した。水分と粉末度の関係を図6および図7にプロットした。④、⑤いずれの場合も水分が減少（粉砕量が増加）すると比表面積は低下するが、その低下割合は1室で非常に大きく、3室では非常に小さくなっている。しかも粒度分布のばらつきも1室では水分の影響が大きいが、3室では非常に小さい。また2室および3室における比表面積増加率（粉砕比）をプロットすれば図8のようになり、④2室の場合を除いて、水分が減少すれば粉砕比は増加する傾向が見られ、3室ではとくにこの傾向が大きい。図6から見て、1室の粉砕比は水分が減少す

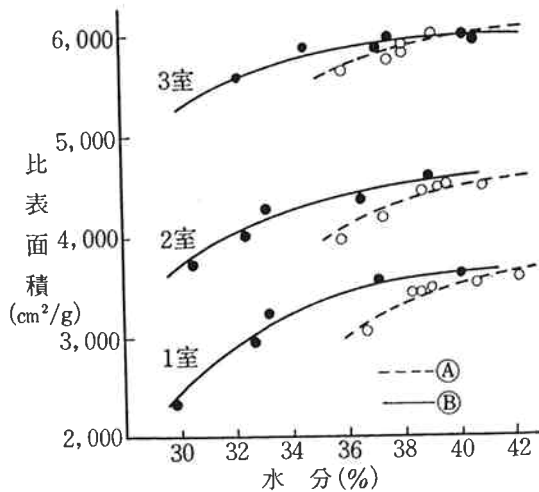


図6 スラリー水分と比表面積

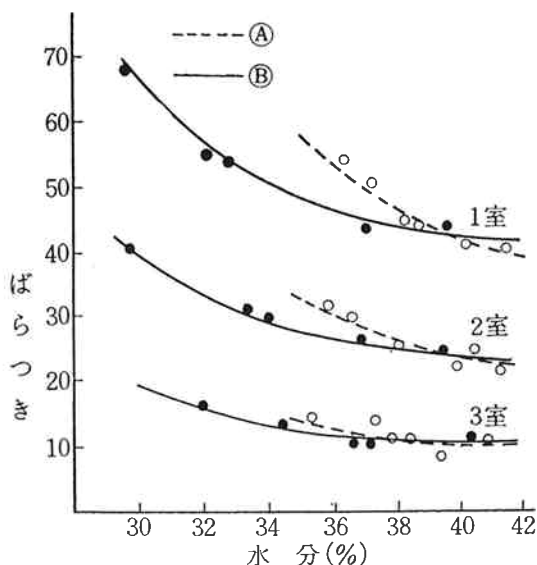


図7 スラリー水分と粒度分布のばらつき

れば小さくなることが想像されるから、結局2室および3室における粉砕効果が大きいことが明らかである。

スラリー水分が39%以上になれば、3室原料の比表面積および分布のばらつきは、④、⑤はほとんど等しくなり、S液の効果は見られないが、1室および2室で④、⑤にかなりの差異がある。すなわち水分が39%以上の場合、1、2室の比表面積は⑤が④より大きく、したがって粉砕比は④が大きい結果を示している。このことは水分が多い場合、1、2室においてもS液が有効に影響するというより、むしろ送入原料の石灰石の割合の差異、あるいは測定データの不足などからの誤差と考えられる。

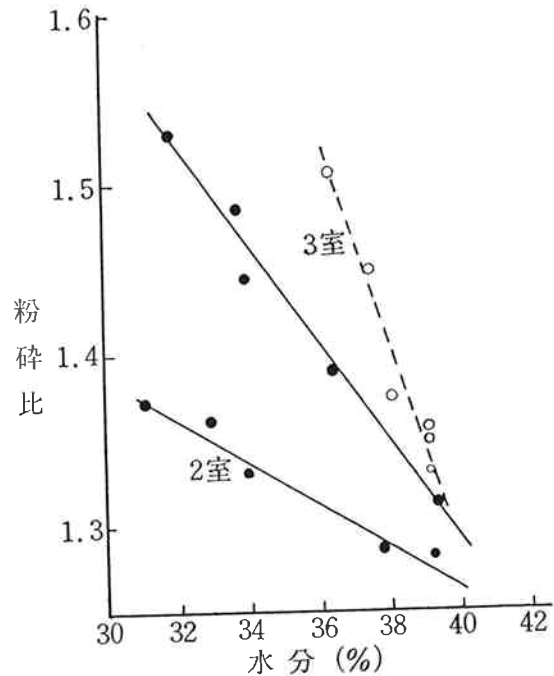


図8 スラリー水分と粉砕比

以上のことから、湿式原料粉砕ではスラリー水分がある一定値以下になれば、その粉砕能率が急激に低下するのではないかと考えられ、その限界における水分はS液を使用しない場合35~36%、S液を使用した場合31~32%付近にあり、またスラリー水分が39%以上になればS液使用の影響はほとんどないものと推察される。そしてこの限界点における水分は、スラリーの粘度が急激に高くなり粘度計で測定不能になる点と大体一致する。

(5) ④および⑤の正常運転の場合の比較

前記(3)においては、④、⑤それぞれの平均データで考察したが、試験結果に見られるように送入原料の成分、さらに実験期間中におけるボールの摩耗などによって、粉砕条件にかなりの差異がある。したがって、

湿式原料粉碎におけるパルプ廃液添加の影響

試験結果の中から比較的粉碎条件が等しく、㉔および㉕の正常運転に近い場合を比較したのが表4(a), (b)である。なおボール量は従来の実績から、

$$\text{ボール充てん量} = \frac{1}{10}(\text{電力}) - 4$$

として計算し、また各室ボール摩耗量割合は1室が20%、2室が16%、3室が64%として推定した。各室電力消費量は Otto Labahn 氏の式を適用し、総使用電力を各室に配分した。

㉔と㉕では、粉碎条件としてボール充てん量約 1.5 t の差異があるが、粉碎量 1.7t/h(0.04t/t ボール)、消費電力 2.4kWh/t 原料と明らかに粉碎能率が向上している。それぞれの場合の各室における粉碎状況は、㉕の場合3室における微粉分増加がとくにいち

るしく、また粒度分布のばらつきも急激に小さくなっている。この傾向は表4(b)の電力、またはボール当たりの表面積増加にさらに大きくあらわれ、S液の効果は3室粉碎に大きく作用していることを示している。

4. ま と め

湿式原料ミルにパルプ廃液を添加し、スラリー水分を減少することにより粉碎能率が向上することは過去の実績で明らかであるが、この場合の粉碎状況をミル各室ごとに粒子組成を測定し、パルプ廃液を添加しない場合の比較において調査検討した。現場の運転中の実験では変動要因が多く、かつサンプリング、計量などの誤差もあり、調査も短期間のため詳細な情報はえられなかったが、結果を要約すればつぎのとおりであ

表4 a 正常運転の場合の比較

	室	水分	原料 H. M.	R40 μ	比表面積 (cm ² /g)	分布ば らつき	粉碎量	推定 ボール量	ボール充 てん率(%)	消費電力
㉔	1	33.7	2.5	50.8	2,980	51	23.3	18.2	31.3	189
	2			38.0	4,030	28		16.4	25.4	176
	3			23.0	5,840	16		27.8	24.6	297
㉕	1	33.9	2.6	52.0	2,890	51	25.0	17.9	30.8	188
	2			39.4	3,950	32		16.2	25.0	172
	3			19.5	5,850	12		24.9	23.8	290

表4 b 正常運転の場合の比較

	室	粉 碎 比			時間当たり 表面積増加 (10 ⁶ m ² /h)	原料 t 当 たり電力 (kWh/t)	電力当 たり表面積 増 加	ボール t 当 たり粉碎量 (t/t 1.7t/h)	ボール当 たり表面積 増 加
		R40	比表面積 (cm ² /g)	ばらつき 減少率					
㉔	1	—	—	—	—	8.1	—	1.29	—
	2	1.34	1.35	45	2.45	7.6	1.39	1.42	1.49
	3	1.65	1.45	36	4.20	12.7	1.41	0.84	1.51
	計	(2.20)	(1.96)	(69)	(6.65)	28.4	(1.40)	0.37	1.50
㉕	1	—	—	—	—	7.5	—	1.40	—
	2	1.32	1.37	37	2.70	6.9	1.44	1.54	1.66
	3	2.01	1.48	62	4.70	11.6	1.62	0.93	1.75
	計	(2.66)	(2.02)	(76)	(7.40)	26.0	(1.53)	0.41	1.70

る。

- (1) 湿式原料ミルの各室中仕切りの中から採取した試料は、大体各室出口スラリーの平均試料と考えることができるが、同時に採取した各室スラリーの水分にかなりの差異があることから、同一粉碎条件で少なくとも2回の試料採取が必要であろう。なお各室スラリー水分の差異の原因は不明であった。
- (2) パルプ廃液使用の有無にかかわらず、スラリー水分が減少すると粉末度は大きくなり、粒子分布のば

らつきも大きくなる。この傾向は1室でとくにいちじるしいが、3室における微粉分増加が大きいミル出口スラリーではかなり小さくなる。

- (3) パルプ廃液添加の効果は、スラリー水分が33~39%以上になれば非常に小さいが、水分が減少するほど効果が大きくなる。パルプ廃液を添加して粉碎量を増加すれば、1室における粉末度は大きくなるが、3室における粉碎比がいちじるしく増大し、ミル出口スラリーの粉末度はほとんど等しくなる。こ

湿式原料粉碎におけるパルプ廃液添加の影響

の結果、本実験では0.8%の廃液添加によって粉碎量が17 (0.04t/tボール)増加し、消費電力は2.4kWh/t原料減少した。

- (4) 廃液使用の場合、スラリー水分が31~32%以下、また廃液を使用しない場合の水分が35~36%以下になればスラリー粘度が急増し、その粉碎能率も急激に低下するものと考えられるが、廃液使用により単位電力当たり、あるいは単位ボール当たりの表面積の増加が2室で約10%、3室で約15%も増大してい

ることから、ミル中仕切りの原料通過面積を大きくすることによって、さらに粉碎量を増加する余地があるのではないかと考えられる。

以上のように、今回の調査では廃液添加の効果を再確認したが、不明の点多いので今後は廃液使用の場合についてボール配列および充填率、さらにスラリー通過面積との関係において、引き続き調査の予定である。